中国低碳农业发展绩效与政策评价

陈　儒，姜志德

（西北农林科技大学 经济管理学院，陕西 杨凌 712100）

摘　要：通过引入联合生产的理论视角和概念框架，在以往把农业碳排放视为非期望产出基础之上，将农业碳汇作为期望产出纳入碳绩效核算体系，结合 2007—2015 年中国 42 个低碳试点省市的面板数据，运用碳计量模型、超效率 SBM 模型和 ML 效率指数分析了中国低碳农业发展绩效的时空变化趋势，继而对不同地区低碳农业政策实施效果进行了评价。结果表明：低碳农业发展是一个具有 4 种产出品的联合生产格局，旨在实现农产品和碳产品之间的耦合关系得以脱钩；在农业生产过程中，低碳试点地区虽然保持了良好的净碳汇效应，但未能实现低碳农业的有效发展，农业投入要素的冗余是主要制约因素；大部分试点地区低碳农业生产效率呈现震荡上升趋势，实现了低碳农业发展的绩效改进，农业技术进步是绩效改进的主要驱动力。整体上来讲，低碳试点省市建设虽然在一定程度上促进了低碳农业的发展，但效果并不明显，主要制约因素源于农业技术效率的降低。

关键词：低碳农业；净碳汇；发展绩效；生产效率；技术效率

中图分类号：F323.2　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1672－0202(2017)05－0028－13

一、引言

发展低碳农业、在农业领域推行温室气体减排成为现阶段应对气候变化的重要措施。2010 年，中国第一批低碳城市建设试点在陕西、云南、湖北、天津等 5 省 8 市开展，并于 2012 年进一步扩大试点范围，最终确定 6 个低碳试点省份和 36 个低碳试点城市。随着 2017 年第三批低碳试点城市启动，低碳建设工作将在全国全面铺开。时至今日，低碳试点政策成效在各产业内日渐显现，其中在农业领域内，不少地方在实践中探索推广了一些低碳农业技术和发展模式，如以测土配方施肥和节水灌溉为主的精准农业投入模式，以粪便管理、秸秆回收和户用沼气为主的农业废弃物处理和利用模式，以提高饲料利用和转化效率为主的牲畜饲养和甲烷管理模式，以种植制度改革为主的水稻田温室气体减排模式等[1]，可见，减少农业各个生产环节的碳排放以及增加植被、土壤的碳汇量成为低碳农业发展的关键点。

目前，在关于低碳农业的研究中，学者整体上围绕着低碳农业的基本属性[2-3]、农业生产活动碳效应的分析与核算[4-5]、微观农户低碳生产行为[6]、低碳农业发展机制与政策[7]等方面展开论述。在低碳发展绩效评价方面，学者的研究视角较多局限于宏观部门或工业层面[8-9]，且研究方法基本从单要素指标评价（碳强度或碳生产率）[4,10]和数据包络模型（DEA）[8,11]两个角度进行分析，只有少数学者试图把环境因素纳入到农业经济绩效的研究框架，并据此进行低碳农业绩效评估。高鸣等[12]、吴贤荣等[11]在计算中国各省区的农业碳排放量基础之上，使用 ML 指数、空间 Moran's I 指数等模型深入分析了中国农业碳排放绩效的动态变化、农业边际减排成本和空间聚集与收敛

收稿日期：2017－05－24　　**DOI**：10.7671/j.issn.1672－0202.2017.05.003

基金项目：国家自然科学基金项目（71573212）；中国清洁发展机制基金赠款项目（2012027）

作者简介：陈　儒（1991—），男，山西曲沃人，西北农林科技大学经济管理学院博士研究生，主要研究方向为生态农业、低碳经济。E－mail：R.CHEN@foxmail.com

等问题；刘应元等[13]、田伟等[14]采用中国省域面板数据，基于非期望产出（碳排放）的 SBM 模型分别评价了中国生态农业发展绩效和中国农业环境效率；田云等[15]利用 DEA-Malmquist 模型考察了中国 30 个省（市、区）1994—2012 年的低碳农业发展水平，在此基础上，运用 Kernel 密度函数和经济增长收敛理论探讨了其动态演进与收敛性。已有研究成果对帮助理解低碳农业具有重要的启发和借鉴意义，也为研究低碳农业发展绩效奠定了良好的基础，但也存在不足：现有文献较多将碳排放作为非期望产出引入研究框架，并直接进行实证分析，不仅忽视了农业极强的碳汇效应，还使得研究缺乏一定的理论支撑；在实证分析过程中，学者多采用省域面板数据对低碳农业绩效水平进行评价，往往忽略了不同区域低碳农业政策的影响，从而使得研究结论缺乏一定的精准性。

鉴于此，本研究在充分吸收前人成果基础之上，通过引入联合生产的理论视角和概念框架，在以往把农业碳排放视为非期望产出基础之上，将农业碳汇作为期望产出引入研究框架来分析中国低碳农业发展绩效水平，并采用低碳试点省市面板数据，基于低碳农业发展绩效和净碳汇效应的时空变化，对试点地区低碳农业政策落实成效加以评价，以期为科学制定低碳农业发展政策、实现农业经济增长与生态环境的可持续发展提供一定参考。

二、理论分析、模型构建与数据来源

（一）低碳农业的联合生产性质

联合生产是在相同要素投入下形成不同产出的生产过程，此产出在形式上样式较多，大致归类于经济产出和非经济产出的某种组合[16]。Baumgärtner[17]基于热力学定律指出，任何生产过程都是联合生产，由于任何自然和人类活动过程必须服从能量守恒定律和熵定律的约束，生产过程则意味着熵值增加，且高熵值的原料只有和低熵值的能源共同投入时方能实现生产过程，而产出则必然包括低熵值的期望产品和高熵值的非期望产品两大部分。农业生产过程属于严格的联合生产，同样包含低熵和高熵两类联合产品：一类是作为目标产出的期望产品——农产品或碳汇，另一类是作为非目标联合产出的非期望产品——农业废弃物（含碳排放）。若将温室气体从农业废弃物当中“分离”成为专门的一类，这样就形成了具有 4 种联合产出品的联合生产格局。以 CO_2 为主的温室气体是高熵废物的集中代表，它们本身未必有害，但作为一系列复杂生物化学反应的最终产物，其背后意味着有用物质和有效能量消耗以及废弃物质堆积的强度和水平，是反映低碳农业发展绩效的重要指标。

在由低碳农业构成的联合生产体系中，农产品是可以在市场出售的有价商品，而碳产品却是不能自动实现市场价值的公共产品，且其外部性由净碳汇（碳汇与碳排放差值）额度决定。农产品是生产者有目的的投入和努力经营的结果，而碳产品则是与此过程密不可分的无意后果，不能无条件纳入生产者的决策考量之中。因此，低碳农业发展问题很大程度是如何在取得农业产品的同时，控制另一种联合产品——碳产品，并促使农产品和碳产品之间的耦合关系得以脱钩，最终通过追求生产环节的“低碳”来谋求整个系统的相对“低熵”。同时，随着碳核算等方法学的成熟运用，每项农业活动在各环节的碳排放量或碳汇量可以得到较为准确的测量，若将其实物量或价值量以联合产品的形式引入经济学分析框架，有助于研究结果更加科学、准确。

（二）计量模型构建

基于前文分析可知，低碳农业生产过程包括要素投入和产品产出两部分，并且在产出方面包括作为期望产品的经济产品和非期望产品的废弃物。本研究沿用环境生产技术的处理方法，将非期望产品纳入到低碳农业核算分析框架中，通过设定同等投入条件来追求期望产出增加和非期望产出减少的最大可能[11]，从而实现经济效益和环境效益的双赢。与以往不同的是，本研究除了把农业碳排放视为非期望产出，还将农业碳汇作为期望产出引入研究框架。

1. 碳计量模型

测算农业碳汇量和碳排放量是衡量低碳农业发展绩效水平的基础,为保证测算的精确性,本文在研究方法上采用 IPCC 推荐的系数测算方法,并依据陈儒等[1]、闵继胜等[5]研究成果,确定农资投入(化肥、农药、地膜等)、农地利用(灌溉、稻田水淹等)、农业能源投入(电、柴/汽油、人工等)、牲畜肠道发酵及粪便管理为农业主要碳排放来源;确定农作物和林木生物量为农业主要碳汇来源,最终构建农业碳计量模型如下:

$$E = \sum E_i = \sum T_i \times e_i \tag{1}$$

$$C_{\text{crop}} = \sum C_{\text{crop}-i} = \sum c_i \times Y_i \times (1 - r_i) / H_i \tag{2}$$

$$C_{\text{tree}} = \sum C_{\text{tree}-i} = \sum C_{\rho i} \times A_i \tag{3}$$

$$C_n = C_{\text{crop}} + C_{\text{tree}} - E \tag{4}$$

式(1)中,E 为农业碳排放总量,E_i为各种碳排放源的排放量,i 为碳排放源类型,T_i为碳排放源的使用量,e_i为碳排放系数;式(2),中C_{crop}为农作物碳汇总量,$C_{\text{crop}-i}$为各类农作物的碳吸收量,i 为农作物类型,c_i 为农作物的碳吸收率,Y_i 为农作物产量,r_i 为相应农作物经济产品部分的含水量,H_i 为农作物经济系数;式(3)中,C_{tree}为林木固碳量,$C_{\text{tree}-i}$为各类林木的碳吸收量,i 为林木类型,$C_{\rho i}$ 为不同类型林木的碳密度,A_i 为林木的栽植面积;式(4)中,C_n 为净碳汇量,表示农业生产经营过程中碳汇量的盈余。碳排放系数、农作物的碳吸收率与经济系数参考值、林木的碳密度来自 IPCC 及相关研究成果[4,18]。

2. 超效率 SBM 模型

SBM 模型是考虑非期望产出的非径向和非角度 DEA 模型。考虑到评价中可能会出现多个决策单元均达到效率最优的情况,以至于传统的 SBM 模型无法再对这些效率进行进一步比较,因此,本研究将采用超效率 SBM 模型对达到相对有效的决策单元继续进行评价。假设某个决策单元(DMU)有 m 种投入要素 x 和 n 种产出要素 y,I 个 DMU 投入产出向量为(x_i, y_i),其中 $i = 1, \cdots, I$,则超效率 SBM 模型基本表达式如下:

$$\rho^* = \min \frac{1 - m^{-1} \sum_{k=1}^{m} s_k^- / x_{ik}}{1 + n^{-1} \sum_{r=1}^{n} s_r^+ / y_{ir}}$$

$$s.t. \begin{cases} x_i = X\lambda + s^- \\ y_i = Y\lambda - s^+ \\ \lambda \geq 0 \\ s^- \geq 0 \\ s^+ \geq 0 \end{cases} \tag{5}$$

式中 ρ^* 表示 DMU(x_i, y_i)的效率值,且在超效率模型内该值满足 $\rho^* > 0$;s_k^- 表示第 k 种投入的冗余,s_r^+ 表示第 r 种产出的不足;λ 为调整矩阵,$X\lambda$ 表示生产前沿上的投入量,$Y\lambda$ 表示生产前沿上的产出量。SBM 模型效率值ρ^* 对于 s_k^-、s_r^+ 单调递减,且当 $s^- = s^+ = 0$ 时,$\rho^* \geq 1$,此时 DMU(x_i, y_i)位于效率前沿上,决策单元(DMU)不存在投入的冗余和产出的改进,否则决策单元(DMU)非完全有效。

3. Malmquist-Luenberger(ML)效率指数

为了更充分地探究低碳农业发展绩效水平在时间序列上的动态变化趋势,本研究再次引入 Malmquist-Luenberger 效率指数分析法。一方面,该方法不仅弥补了传统 Malmquist 指数无法衡量

非期望产出对绩效影响的缺陷，还可以清晰地反映随着政策落实时间的推移，各决策单元是否真正实现了生产效率的改善；另一方面，该方法可以将生产率指数分解为技术效率变化指数和技术进步指数，有利于分析生产率变动的原因。为了避免参照技术选择的随意性所导致的差异，本研究定义 ML 效率指数为基期 t 时期和 $t+1$ 时期的几何平均值，即低碳农业发展效率指数（LADP）。其基本表达式如下：

$$\begin{aligned} \mathrm{LADP}_i(t,t+1) &= \left[\frac{\overrightarrow{D_i^t}(x^{t+1},y^{t+1})}{\overrightarrow{D_i^t}(x^t,y^t)} \times \frac{\overrightarrow{D_i^{t+1}}(x^{t+1},y^{t+1})}{\overrightarrow{D_i^{t+1}}(x^t,y^t)}\right]^{1/2} \\ &= \frac{\overrightarrow{D_i^{t+1}}(x^{t+1},y^{t+1})}{\overrightarrow{D_i^t}(x^t,y^t)} \times \left[\frac{\overrightarrow{D_i^t}(x^{t+1},y^{t+1}) \times \overrightarrow{D_i^t}(x^t,y^t)}{\overrightarrow{D_i^{t+1}}(x^{t+1},y^{t+1}) \times \overrightarrow{D_i^{t+1}}(x^t,y^t)}\right]^{1/2} \\ &= \mathrm{EFF}_i(t,t+1) \times \mathrm{TECH}_i(t,t+1) \end{aligned} \tag{6}$$

式中$\mathrm{LADP}_i(t,t+1)$ 表示从 t 期到 $t+1$ 期低碳农业发展效率变化情况，$\overrightarrow{D_i^t}$ 与 $\overrightarrow{D_i^{t+1}}$ 表示以 t 期和 $t+1$ 期的技术为参考的混合距离函数，x、y 含义与公式（5）一致。低碳农业发展效率指数（LADP）可分解为技术效率变化指数（EFF）和技术进步指数（TECH），当 LADP 指数大于 1，则表示 t 时期到 $t+1$ 时期低碳农业发展绩效实现改善，反之则出现恶化。

（三）指标选取与数据来源

基于柯布—道格拉斯生产函数可知资本和劳动力是重要的生产要素，本文在结合相关研究成果基础之上，遵循统计数据的可获得性、准确性原则，选取农业固定资产投资额、化肥施用量、农业机械总动力、有效灌溉面积、农业劳动力、土地投入等作为农业投入变量；选取农业总产值、农业碳汇量作为期望产出变量；选取农业碳排放量作为非期望产出变量。农资投入和农业能源消耗是引致碳排放的主要来源，选用此类指标可为后续低碳农业生产投入要素冗余性分析奠定基础。

表 1　指标体系、数据来源与研究区域

项目	类别	对象	备注
指标体系	投入指标	农业固定资产投资额	各指标数据和农业碳排放、碳汇量测算所需原始数据均来源于历年各地市《统计年鉴》《国民经济和社会发展统计公报》和《中国统计年鉴》《中国农村统计年鉴》。其中，农业劳动力用第一产业年末从业人数进行衡量，土地投入用农作物播种面积、年末实有果园面积与造林面积之和进行衡量。
		化肥施用量	
		农业机械总动力	
		有效灌溉面积	
		农业劳动力	
		土地投入	
	产出指标	农业总产值	
		农业碳汇量	
		农业碳排量	
研究区域	东部低碳试点城市	北京、上海、天津、石家庄、保定、秦皇岛、青岛、苏州、淮安、镇江、宁波、温州、杭州、南平、广州、深圳、厦门	东中西部地域的划分参照高鸣等[13]、刘应元等[12]学者研究成果。
	中部低碳试点城市	晋城、大兴安岭地区、池州、景德镇、赣州、济源、武汉、南昌	
	西部低碳试点城市	呼伦贝尔、吉林、桂林、广元、遵义、贵阳、重庆、昆明、延安、金昌、乌鲁木齐	
	低碳试点省区	广东、辽宁、湖北、陕西、云南、海南	

在数据选取上，较多学者[11-13]以中国 31 个省（市、区）作为研究对象，采用宏观面板数据进行分析，忽视了地区之间不同低碳农业政策所导致的差异，使得低碳农业发展绩效的研究和低碳农

业政策的评价往往缺乏一定的精准性。基于此，本研究通过资料查阅、政策解读、电话访谈，最终确定将已经落实政策的6个低碳试点省区和36个低碳试点城市作为研究对象，以2007年中国政府正式发布《中国应对气候变化国家方案》、确定长期应对气候变化框架为研究时间起点，以2010年低碳城市建设试点开展为“分水岭”，采用2007—2015年面板数据，分析前后9年低碳农业发展绩效的时空变化，并基于此对不同地区低碳试点政策成效进行评价。低碳农业发展绩效的指标体系、数据来源与研究区域如表1所示。

三、低碳农业发展绩效及其时空变化

（一）农业生产的净碳汇效应分析

农业生产除了可以产生大量的碳排放外，也具有极强的碳汇效应。净碳汇量指在农业生产经营过程中碳汇量的盈余，常用碳汇量与碳排放量之间的差值来衡量，是反映低碳农业生态产出水平的重要指标。依据前文构建的相关测算方法，估算出各低碳试点区域净碳汇量，如表2所示。

从表中可以看出，各低碳试点地区净碳汇量均为正值，表明各试点地区在农业生产过程中均实现了碳汇量的盈余，低碳农业生态产出水平较好。分地市来看，重庆、石家庄、保定、赣州、延安、呼伦贝尔农业净碳汇效应最优，而深圳、厦门、大兴安岭、济源、贵阳、乌鲁木齐、金昌农业碳汇量的盈余较少；分省区来看，陕西省、湖北省农业碳汇量盈余额较大，而海南省位列最后。同时，西部低碳试点城市区域要比东、中部农业净碳汇效应好，依次为西部 > 东部 > 中部。

从时间序列上来看，与2007年农业净碳汇效应相比，2015年除上海、北京、杭州、深圳、厦门、晋城农业净碳汇量出现负增长现象，其余省市均实现农业净碳汇量快速增长，以大兴安岭、贵阳、吉林、呼伦贝尔增幅比较大，分别为1271%、135%、125%、116%，整体上以西部低碳城市区域增幅最大，东部最低。以2010年末为时间节点，通过分别计算2007—2010和2011—2015两个时间段年平均增长率发现，与低碳试点政策推行前期相比，仅石家庄、广州、池州、武汉等11市和湖北、海南两省在低碳试点政策推行后期实现了农业净碳汇量更为快速地增长，其余省市均出现下滑或负增长现象，整体以西部低碳试点城市和省域下滑幅度最大。主要原因在于中国退耕还林等林业建设工程进入成果巩固阶段[19]，林业年碳汇量增速放缓或衰减，而西部又是林业工程建设重点实施区域。由此可知，虽然各省市在农业生产过程中均实现了碳汇量的盈余，保持了良好的净碳汇效应，但仍存在着农业净碳汇量负增长现象，且在低碳试点政策推行后期也没有改变这一局面。然而，净碳汇量反映的是低碳农业发展的生态效益指标，并不能分析低碳农业发展的经济效益，所以仅仅依据净碳汇效应来分析低碳农业发展现状是缺乏科学性、合理性的，为了深入分析低碳试点政策对农业生产产生的影响，本研究将进一步测算低碳农业发展的绩效水平。

表2 2007—2015年低碳试点地区农业生产的净碳汇量

地区	各年度净碳汇量/10^6 tC									2015较2007增幅比/%	2007至2010平均增长率/%	2011至2015平均增长率/%
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015			
上海	3.995	4.109	4.011	3.817	3.569	3.621	3.502	3.407	3.344	-16.295	-1.508	-1.294
北京	2.067	2.156	2.463	2.194	2.523	3.055	3.210	1.987	1.351	-34.640	2.007	-11.743
天津	1.525	1.956	2.112	2.239	1.889	1.773	1.978	1.970	2.057	34.885	13.657	1.719
石家庄	7.221	7.597	7.255	6.905	7.379	7.522	7.711	7.545	8.244	14.167	-1.481	2.242
保定	6.986	7.522	7.924	7.854	8.659	8.719	8.404	8.374	8.361	19.682	3.981	-0.698

续表 2

秦皇岛	1.265	1.546	1.420	1.626	1.727	1.988	1.538	1.522	1.488	17.628	8.728	-2.935
青岛	3.507	4.000	4.147	4.106	4.251	4.258	3.887	3.105	3.865	10.208	5.397	-1.886
苏州	1.124	1.333	1.332	1.345	1.341	1.673	1.342	1.305	1.212	7.829	6.166	-2.003
淮安	3.339	3.805	3.869	3.897	3.920	4.019	4.087	4.088	4.082	22.252	5.286	0.813
镇江	1.056	1.131	1.296	1.270	1.254	1.300	1.398	1.376	1.306	23.674	6.344	0.816
宁波	1.363	1.493	1.473	1.476	1.581	1.503	1.427	1.421	1.417	3.962	2.690	-2.166
温州	0.868	1.034	1.213	1.137	1.245	1.295	1.215	1.161	1.266	45.853	9.416	0.335
杭州	1.368	1.389	1.414	1.318	1.495	1.506	1.460	0.351	1.093	-20.102	-1.233	-6.072
南平	2.767	2.970	3.161	3.154	5.185	3.076	3.207	3.139	3.215	16.191	4.460	-9.116
广州	1.239	1.263	1.220	1.148	1.198	1.212	1.209	1.244	1.304	5.246	-2.511	1.710
深圳	0.247	0.026	0.088	0.090	0.078	0.070	0.050	0.037	0.037	-85.020	-28.575	-13.857
厦门	0.170	0.154	0.140	0.146	0.132	0.118	0.113	0.152	0.148	-12.941	-4.947	2.315
东部城市平均值	2.359	2.558	2.620	2.572	2.790	2.748	2.690	2.481	2.576	9.183	2.918	-1.583
晋城	0.784	0.768	0.601	0.965	1.081	1.011	0.855	0.746	0.733	-6.505	7.169	-7.476
大兴安岭	0.119	0.627	0.340	0.489	0.368	0.378	1.763	1.432	1.631	1270.588	60.172	34.686
池州	0.933	0.887	0.925	0.888	0.977	0.998	1.059	1.059	1.065	14.148	-1.634	1.740
景德镇	0.715	0.947	0.961	0.824	0.694	0.823	0.734	0.737	0.740	3.497	4.843	1.292
赣州	4.134	5.815	5.457	5.535	5.237	5.379	5.650	5.442	5.389	30.358	10.217	0.574
济源	0.215	0.308	0.464	0.411	0.346	0.301	0.267	0.304	0.312	45.116	24.108	-2.047
武汉	1.814	1.726	1.877	1.800	1.674	1.707	1.723	1.735	1.903	4.906	-0.258	2.597
南昌	1.973	2.897	2.101	2.045	2.156	2.263	2.145	2.169	2.213	12.164	1.202	0.523
中部城市平均值	1.336	1.747	1.591	1.620	1.567	1.608	1.775	1.703	1.748	30.869	6.631	2.218
呼伦贝尔	4.744	6.247	6.965	7.301	8.365	9.273	9.129	9.270	10.255	116.168	15.455	4.158
吉林	2.315	2.784	1.795	2.398	2.529	2.645	3.541	4.868	5.213	125.184	1.181	15.565
桂林	3.084	3.192	3.411	3.476	3.569	3.800	4.312	4.295	5.128	66.278	4.069	7.518
广元	0.868	1.034	1.213	1.137	1.245	1.295	1.215	1.161	1.266	45.853	9.416	0.335
遵义	3.594	3.394	3.422	3.166	3.555	4.378	4.015	4.378	4.726	31.497	-4.138	5.860
贵阳	0.583	0.732	0.804	0.799	0.969	1.131	1.239	1.229	1.371	135.163	11.077	7.187
重庆	14.264	15.470	15.133	22.337	21.941	20.475	21.972	21.776	21.848	53.169	16.126	-0.085
昆明	1.304	0.768	1.097	1.149	1.060	3.563	2.634	1.325	1.664	27.607	-4.130	9.438
延安	4.830	4.864	5.933	6.122	6.024	6.044	7.198	7.489	7.681	59.027	8.222	4.980
金昌	0.311	0.351	0.399	0.396	0.368	0.424	0.350	0.378	0.350	12.540	8.387	-0.998
乌鲁木齐	0.122	0.203	0.213	0.206	0.224	0.273	0.235	0.231	0.225	84.426	19.079	0.089
西部城市平均值	3.274	3.549	3.671	4.408	4.532	4.846	5.076	5.127	5.430	65.821	10.416	3.682
广东省	20.316	20.500	22.019	25.571	27.475	27.265	27.486	28.669	28.409	39.836	7.970	0.671
辽宁省	19.587	20.412	20.176	24.482	29.729	30.292	31.415	26.500	23.002	17.435	7.719	-5.001
湖北省	28.503	28.111	29.895	30.703	31.949	33.379	36.157	36.991	38.249	34.193	2.509	3.665
陕西省	27.605	30.396	36.322	36.291	35.945	36.419	37.260	37.231	37.658	36.417	9.548	0.935
云南省	20.608	31.803	38.812	36.180	34.635	32.364	31.935	26.888	31.850	54.552	20.636	-1.663
海南省	3.425	3.535	3.638	3.444	3.480	3.930	3.572	3.533	3.573	4.321	0.185	0.529
省域平均值	20.007	22.460	25.144	26.112	27.202	27.275	27.971	26.635	27.124	35.568	9.282	-0.058

（二）低碳农业发展的有效性分析

实现经济效益和生态效益双赢是低碳农业发展的关键所在[1]，基于前文对低碳农业生态效益基础之上的分析，将农业生产的经济效益引入到研究框架，以此分析试点区域低碳农业发展的有效性。同时，在以往把农业碳排放视为非期望产出基础之上，将农业碳汇作为期望产出引入模型来分析低碳农业发展的绩效水平。本文依据超效率 SBM 模型，运用 MaxDEA Ultra 6.8 软件对2007—2015 年中国低碳试点省市的低碳农业发展绩效值和农业投入要素的冗余比进行了测算，分析结果如表 3、4 所示。

表 3 2007—2015 年低碳试点区域农业发展的绩效值

地区	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
上海	0.929	1.045	1.010	1.010	1.020	1.019	1.001	1.005	1.092
北京	0.407	0.429	0.448	0.453	0.533	0.706	1.036	1.013	0.743
天津	0.229	0.240	0.251	0.280	0.283	0.293	0.352	0.376	0.408
石家庄	0.502	0.460	0.427	0.455	0.573	0.577	0.621	0.578	0.592
保定	0.275	0.354	0.366	0.389	0.439	0.431	0.453	0.502	0.522
秦皇岛	0.216	0.270	0.274	0.340	0.376	0.441	0.425	0.438	0.427
青岛	0.367	0.388	0.401	0.495	0.536	0.526	0.535	0.495	0.578
苏州	0.389	0.472	0.474	0.502	0.588	0.734	0.784	0.906	1.055
淮安	0.383	0.448	0.439	0.473	0.533	0.589	0.621	0.588	0.624
镇江	0.210	0.225	0.262	0.275	0.473	0.482	1.189	0.809	0.765
宁波	0.397	0.386	0.368	0.457	0.524	0.547	0.592	0.598	0.648
温州	0.270	0.371	0.384	0.422	0.342	0.256	0.254	0.273	0.305
杭州	0.462	0.462	0.485	0.480	0.689	1.018	0.576	0.390	0.598
南平	0.663	0.686	0.561	0.601	1.105	1.002	0.913	1.048	1.017
广州	1.035	1.032	0.761	0.865	1.022	1.001	1.006	1.012	1.022
深圳	1.748	1.064	1.018	1.024	1.227	1.085	1.007	1.206	1.198
厦门	0.449	0.596	0.443	0.658	0.763	1.010	0.604	0.881	1.016
东部城市平均值	0.525	0.525	0.492	0.540	0.648	0.689	0.704	0.713	0.742
晋城	0.126	0.160	0.112	0.139	0.159	0.146	0.127	0.140	0.144
大兴安岭	0.436	1.072	1.006	1.027	1.119	1.013	1.061	1.050	1.087
池州	0.406	0.437	0.352	0.460	0.401	0.324	0.272	0.263	0.263
景德镇	0.303	0.243	0.274	0.210	0.215	0.252	0.218	0.237	0.257
赣州	0.715	1.187	0.676	0.660	0.673	0.584	0.599	0.572	0.545
济源	0.082	0.131	0.147	0.138	0.132	0.120	0.168	0.169	0.173
武汉	0.297	0.305	0.325	0.356	0.392	0.639	0.777	0.858	1.063
南昌	0.442	0.518	0.288	0.249	0.263	0.285	0.350	0.361	0.382
中部城市平均值	0.351	0.507	0.397	0.405	0.419	0.420	0.447	0.456	0.489
呼伦贝尔	0.696	1.260	0.772	0.859	1.022	1.023	1.021	1.016	1.032
吉林	0.317	0.362	0.307	0.334	0.394	0.445	0.515	0.560	0.641
桂林	0.371	0.411	0.372	0.403	0.415	0.397	0.433	0.447	0.477
广元	0.199	0.216	0.171	0.174	0.253	0.227	0.235	0.258	0.282
遵义	0.416	0.439	0.468	1.008	0.536	1.004	0.616	0.756	1.174

续表 3

贵阳	0.160	0.155	0.149	0.144	0.150	0.156	0.178	0.258	0.317
重庆	0.709	0.692	0.561	1.011	1.001	0.849	1.006	0.967	1.006
昆明	0.220	0.208	0.207	0.245	0.232	0.443	0.467	0.384	0.394
延安	1.223	0.918	1.022	1.004	0.824	0.750	1.022	1.069	1.038
金昌	0.176	0.175	0.172	0.184	0.159	0.157	0.166	0.156	0.151
乌鲁木齐	0.122	0.141	0.145	0.150	0.189	0.188	0.162	0.171	0.168
西部城市平均值	0.419	0.453	0.395	0.502	0.471	0.513	0.529	0.549	0.607
广东省	1.055	1.005	0.925	0.928	1.011	0.922	0.923	1.042	1.018
辽宁省	0.707	0.654	0.603	0.765	0.891	0.901	1.055	0.954	1.061
湖北省	1.005	0.709	0.631	0.708	0.763	0.785	1.040	1.002	1.034
陕西省	0.755	0.801	1.046	1.010	1.009	1.003	1.013	1.009	1.012
云南省	0.747	1.061	1.039	0.870	0.849	1.082	1.006	0.704	0.692
海南省	0.599	0.694	0.686	0.823	1.077	1.002	1.002	1.003	1.029
省域平均值	0.811	0.821	0.822	0.851	0.933	0.949	1.007	0.953	0.974

从表 3 可以看出，各地区低碳农业发展绩效水平存在较大差异。整体上来看，东、中、西部低碳城市区域及低碳省域均未实现低碳农业的有效发展，有效性大小依次为低碳省域 > 东部 > 西部 > 中部。结合表 4 发现，导致各地区低碳农业发展绩效水平不高的主要原因在于资源配置不合理所引发的农业投入要素的冗余。表 4 显示，50% 以上的试点地区均存在农业投入要素冗余现象，且不同要素在各个地区的冗余程度差异较大。以 2015 年为例，低碳试点区域中有 23 个城市和 1 个省份农业固定资产投资额冗余比较大，农业生产设施等受限于投资效率低下，使得低碳农业的发展受到制约；晋城等 24 个城市、金昌等 27 个城市和乌鲁木齐等 23 个城市分别在化肥施用量、农业机械总动力投入、灌溉面积投入的冗余比上较高，农资与能源使用效率的低下是导致其低碳农业发展绩效水平不高的主要原因，农业机械和灌溉产生的能源消耗以及农业生产中的化肥施用是引致农业碳排放的主要来源；部分地区如秦皇岛、广元、晋城、景德镇、济源等，其农业劳动力均达到了饱和状态，说明这些地区农业生产出现劳动力投入过剩的问题；各低碳试点地区的土地要素的利用率相比其他生产要素要高，整体上冗余比较低，但仍有 23 个城市和两个省份的土地要素并未得到充分利用。

从时间序列来看，2007—2015 年，低碳试点城市整体上均实现了低碳农业发展效率的稳步提升，低碳农业政策推行效果较好，以东部城市区域效率增幅最大，西部次之，中部最小。分区域来看，低碳农业发展绩效尚缺乏一定的稳定性，北京、石家庄、镇江、杭州等 12 个城市均出现先增后减的趋势，各个低碳省份效率值也呈现出震荡变化现象，除云南省外，其余省份虽在 2015 年均实现了低碳农业的有效发展，但在整体水平上，省域效率值呈现先增后减的变化趋势。这说明，中国的经济发展进入了“新常态”，农业生产处于经济发展模式转轨、经济增长方式转变的改革波动中。值得注意的是，SBM 模型测算出来的效率为相对效率，即某一年各省份的发展状况是通过互相参照技术和规模而得出的[13]，绩效的时序参照性不强。为了更精确地分析随着低碳试点政策落实时间的推移，各地区低碳农业发展绩效水平在时间序列上的动态变化趋势，本研究将进一步运用 Malmquist-Luenberger 效率指数法分析低碳农业生产率变化的情况及原因。

表4 2015年低碳试点区域各农业投入要素的冗余比 单位:%

地区	农业固定资产投资额冗余比	化肥施用量冗余比	农业机械总动力冗余比	有效灌溉面积冗余比	农业劳动力冗余比	土地投入冗余比
上海	0.000	0.000	30.138	0.000	0.000	0.000
北京	30.881	17.798	14.189	11.935	33.544	0.000
天津	39.504	52.451	49.782	45.890	37.851	16.629
石家庄	40.807	33.264	41.888	40.680	11.577	6.919
保定	29.494	30.098	49.438	59.412	43.094	22.479
秦皇岛	40.808	54.794	53.855	14.515	61.201	0.000
青岛	30.063	36.536	48.904	47.812	38.387	5.088
苏州	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
淮安	5.686	47.323	56.201	41.370	3.931	26.555
镇江	0.000	13.239	27.721	31.001	27.760	15.124
宁波	30.182	19.013	38.882	11.553	26.795	6.488
温州	45.825	54.441	50.811	45.741	48.776	12.536
杭州	43.856	11.342	40.052	0.000	40.805	7.597
南平	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
广州	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
深圳	0.000	0.000	8.900	2.500	0.000	3.229
厦门	0.000	0.000	9.390	0.000	0.000	0.000
晋城	69.160	67.437	66.348	65.618	61.371	28.342
大兴安岭	35.875	0.000	0.000	0.000	8.746	0.000
池州	48.338	62.298	54.724	51.573	46.737	5.950
景德镇	39.603	61.973	58.166	56.195	53.249	6.003
赣州	42.840	8.434	18.899	48.194	46.687	30.645
济源	61.767	61.865	62.974	53.236	51.260	16.526
武汉	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
南昌	46.868	50.674	39.788	50.459	44.035	23.661
呼伦贝尔	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
吉林	18.851	57.176	23.417	39.500	0.000	8.297
桂林	29.824	54.599	46.628	46.056	32.352	25.270
广元	49.057	56.779	50.420	42.567	58.332	12.945
遵义	0.000	0.000	0.000	45.934	0.000	0.000
贵阳	45.248	56.530	52.519	43.102	46.155	24.774
重庆	0.000	0.000	0.883	1.096	0.000	0.000
昆明	43.936	50.336	45.175	28.833	55.265	27.762
延安	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
金昌	64.521	63.274	64.074	56.851	64.239	31.696
乌鲁木齐	56.152	66.356	25.070	66.790	50.138	53.816
广东省	0.000	0.000	0.076	0.000	0.000	0.000
辽宁省	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
湖北省	0.000	0.751	0.000	0.000	0.000	0.000
陕西省	0.000	0.000	0.000	0.915	0.000	0.000
云南省	27.789	27.726	21.421	14.019	32.918	27.156
海南省	0.000	0.000	3.262	0.000	0.000	1.050

（三）低碳农业发展绩效的时空动态分析

如表 5 所示，绝大部分低碳试点省市在 2007—2015 年均实现了低碳农业发展的绩效改进，表明自 2007 年中国应对气候变化以来，低碳农业政策落实效果较好，其中上海、北京、石家庄等 10 个城市和广东、辽宁等 4 个省的绩效的改进源于农业技术进步，其余地区则源于农业技术效率提升和农业技术进步的共同贡献。此外，延安市和广东省分别受到技术退化、技术低效的制约，出现低碳农业发展绩效略微倒退的现象。分省区来看，东部城市区域低碳农业发展的绩效改进幅度最大，中部次之，西部第三，低碳试点省均绩效改进幅度最小，农业技术的不断进步是带来低碳农业发展绩效改善的主要驱动力，这与学者吴贤荣等[11]、田云等[15]研究成果结论一致。

为了剖析低碳试点政策在农业领域内的实施效果，判定其是否有效促进了低碳农业更进一步的发展，本研究以 2010 年末（2011 年初）为时间节点，估算了前后两个阶段低碳农业发展效率的平均值。如表 5 所示，在 2007—2011 年和 2011—2015 年两个周期内，除少数地区外，大部分省市的低碳农业发展绩效实现了改进，与全周期结论符合。与第一周期（2007—2011 年，下同）相比，第二周期（2011—2015，下同）中有 17 个城市和两个省的低碳农业发展效率平均值超过第一周期，低碳农业发展水平实现了更进一步的提高，但仍有 18 个市和 4 个省的低碳农业发展绩效改进幅度出现降低，甚至绩效倒退；在省区中，只有西部城市实现了绩效改进提升，东部城市和省域出现了绩效改进降低，而中部城市则出现绩效倒退现象，这说明低碳试点政策虽然在一定程度上促进了低碳农业的发展，但效果并不明显，主要制约因素源于农业技术效率的降低。

在第一周期内，导致地区低碳农业发展绩效恶化的主演原因是农业技术的退化，然而在第二周期内，由于较低的农业技术效率，造成生产要素未实现最优化配置，这一点与在 SBM 模型中关于农业投入要素冗余的分析结论保持一致，这说明随着低碳试点政策的推广落实，各地区在第二周期内致力于农业技术的研发和转型升级，虽然打破了第一周期农业技术退化带来的障碍，却还未实现新技术的广泛推广和运用，致使农业技术效率未能改善，生产要素投入出现冗余现象。同时，通过查阅各地区低碳试点建设的相关政策发现，政府在政策制定上较多以能源、工业减排作为低碳建设的重点，往往忽视了农业温室气体减排和农林碳汇生产的紧迫性和重要性。因此，给予农业低碳化发展更多的政策支持，不断加强创新、节能、高效农业技术的推广运用，是实现低碳农业进一步发展的关键举措。

表 5　2007—2015 年各地区低碳农业发展效率平均值

地区	2007—2011			2011—2015			2007—2015		
	LADP	EFF	TECH	LADP	EFF	TECH	LADP	EFF	TECH
上海	1.024	0.971	1.055	1.024	1.022	1.002	1.025	0.997	1.029
北京	1.071	0.987	1.085	1.118	1.002	1.116	1.094	0.995	1.101
天津	1.060	0.996	1.064	1.098	1.015	1.082	1.079	1.006	1.073
石家庄	1.100	1.040	1.058	1.025	0.887	1.156	1.067	0.964	1.107
保定	1.135	1.042	1.089	1.047	1.006	1.041	1.091	1.024	1.065
秦皇岛	1.505	1.446	1.041	1.060	0.824	1.287	1.321	1.135	1.164
青岛	1.113	1.033	1.077	1.024	0.979	1.046	1.068	1.006	1.062
苏州	1.111	1.015	1.095	1.158	1.005	1.152	1.135	1.010	1.124
淮安	1.091	1.049	1.040	1.162	1.084	1.072	1.126	1.067	1.056
镇江	1.257	1.319	0.953	1.232	1.070	1.151	1.257	1.195	1.052
宁波	1.103	1.093	1.009	1.074	0.897	1.197	1.097	0.995	1.103
温州	1.320	1.266	1.043	0.991	0.885	1.120	1.163	1.076	1.082

续表5

杭州	1.189	1.162	1.023	1.099	0.956	1.150	1.151	1.059	1.087
南平	1.181	1.016	1.162	0.984	0.972	1.012	1.080	0.994	1.087
广州	1.010	0.982	1.029	1.001	0.982	1.019	1.006	0.982	1.024
深圳	1.509	1.301	1.160	1.599	1.237	1.293	1.556	1.269	1.227
厦门	1.179	1.003	1.175	1.201	1.094	1.098	1.192	1.049	1.137
东部城市平均值	1.176	1.101	1.068	1.134	1.042	1.088	1.155	1.072	1.078
晋城	1.081	1.128	0.958	1.040	0.914	1.138	1.070	1.021	1.048
大兴安岭	1.328	1.110	1.196	1.007	1.049	0.960	1.164	1.080	1.078
池州	1.134	1.350	0.840	0.962	0.735	1.309	1.120	1.043	1.075
景德镇	0.953	1.043	0.914	1.224	0.990	1.236	1.093	1.017	1.075
赣州	1.028	0.981	1.048	1.044	0.901	1.159	1.038	0.941	1.104
济源	1.342	1.478	0.908	1.121	0.945	1.186	1.268	1.212	1.047
武汉	1.077	1.002	1.075	1.360	1.253	1.085	1.218	1.128	1.080
南昌	0.933	0.949	0.983	1.104	1.035	1.067	1.017	0.992	1.025
中部城市平均值	1.119	1.130	0.990	1.118	0.978	1.143	1.124	1.054	1.067
呼伦贝尔	1.145	0.998	1.147	1.003	0.984	1.019	1.073	0.991	1.083
吉林	1.065	1.014	1.050	1.133	1.100	1.030	1.099	1.057	1.040
桂林	1.037	0.971	1.068	1.051	1.051	1.000	1.045	1.011	1.034
广元	1.077	1.023	1.053	1.046	0.937	1.116	1.063	0.980	1.085
遵义	1.190	0.969	1.228	1.288	1.049	1.228	1.239	1.009	1.228
贵阳	0.991	0.992	0.999	1.269	1.079	1.176	1.126	1.036	1.088
重庆	1.129	1.034	1.092	1.008	1.004	1.004	1.068	1.019	1.048
昆明	1.025	0.969	1.058	1.472	1.296	1.136	1.242	1.133	1.097
延安	0.914	0.973	0.939	1.076	1.025	1.050	0.994	0.999	0.995
金昌	1.044	1.176	0.888	1.057	0.906	1.167	1.070	1.041	1.028
乌鲁木齐	1.146	1.174	0.976	1.034	0.903	1.145	1.101	1.039	1.061
西部城市平均值	1.073	1.027	1.045	1.130	1.030	1.097	1.102	1.029	1.071
广东省	0.992	0.999	0.993	1.005	0.978	1.028	0.999	0.989	1.011
辽宁省	1.067	1.005	1.062	1.050	0.981	1.070	1.059	0.993	1.066
湖北省	0.952	0.995	0.957	1.087	1.025	1.060	1.019	1.010	1.009
陕西省	1.080	1.000	1.080	1.000	0.998	1.002	1.040	0.999	1.041
云南省	1.048	0.998	1.050	0.965	0.996	0.969	1.006	0.997	1.010
海南省	1.164	1.027	1.133	0.989	0.972	1.017	1.074	1.000	1.075
省域平均值	1.050	1.004	1.046	1.017	0.992	1.025	1.033	0.998	1.036

四、结论与启示

（一）主要研究结论

（1）低碳农业生产过程是一个在同等要素投入条件下，具有4种产出品的联合生产格局。产

出方面包括低熵值的期望产品和高熵值的非期望产品，低碳农业发展旨在促使农产品和碳产品之间的耦合关系得以脱钩，通过追求农业生产环节的“低碳”谋求整个农业生产系统的相对“低熵”。

（2）低碳试点地区在农业生产过程中保持了良好的净碳汇效应，低碳农业生态产出水平较好。然而，2007—2015 年部分省市出现了农业年净碳汇量负增长的现象，后续低碳试点政策虽然在一定程度上促进了农业净碳汇效应，但由于作用不强，并未能改善这一局面。其中，林业年碳汇量增速放缓或衰减是制约农业净碳汇效应的主要因素。

（3）低碳试点地区整体上未能实现低碳农业的有效发展，但实现了低碳农业发展效率的稳步提升；分地区来看，低碳农业发展效率尚缺乏一定的稳定性。其中，农业投入要素的冗余是制约低碳农业有效发展的主要障碍，且不同要素在各个地区的冗余程度差异较大。

（4）大部分低碳试点地区在 2007—2015 年实现了低碳农业发展的绩效改进，低碳农业政策落实效果较好，农业技术的不断进步是绩效改善的主要驱动力。后期的低碳试点政策虽然在一定程度上促进了低碳农业的发展，但效果并不明显，主要制约因素源于农业技术效率的降低。

（二）政策启示

基于以上结论，本文政策启示如下：其一，政府需给予农业低碳化发展更多地关注和政策支持，尤其在低碳试点地区，不断在实践中探索和推广低碳农业发展模式，合理调整土地利用结构，增加林业碳汇量的生产，发挥其在低碳农业发展上的标杆作用。其二，低碳农业的发展需兼顾经济效益和生态效益，通过构建农业低碳发展绩效测评机制，有助于各地区结合当地实际制定精准的低碳农业政策，减少农业投入要素冗余现象，从而实现农业生产中生态产品与经济产品的最优产出。其三，继续加强创新、节能、高效农业技术的研发和推广运用，依托低碳农业绩效测评机制，将测土配方施肥、微喷（滴）灌溉、秸秆饲料化（肥料化）、户用沼气等低碳技术实现精准性应用，做到农业生产要素的充分利用和合理配置，从而改善农业技术效率。其四，在农林碳效应较优的试点区域，将农业净碳汇量以项目“打包”的方式纳入碳交易市场，构建以碳交易为主的市场化生态补偿机制，激发农户低碳、绿色生产的积极性，加快实现农业经济发展模式转轨。

参考文献：

[1] 罗吉文. 低碳农业发展模式探析[J]. 生态经济，2010(12)：142－144.

[2] 许广月. 中国低碳农业发展研究[J]. 经济学家，2010(10)：72－78.

[3] 郑恒，李跃. 低碳农业发展模式探析[J]. 农业经济问题，2011，32(6)：26－29.

[4] 陈儒，邓悦，姜志德. 农业生产项目的综合碳效应分析与核算研究——基于陕西安塞的农户调查数据[J]. 华中农业大学学报(社会科学版)，2017 (3)：23－34.

[5] 闵继胜，胡浩. 中国农业生产温室气体排放量的测算[J]. 中国人口·资源与环境，2012，22(7)：21－27.

[6] 侯博，应瑞瑶. 分散农户低碳生产行为决策研究——基于 TPB 和 SEM 的实证分析[J]. 农业技术经济，2015(2)：4－13.

[7] POPP M, NALLEY L, FORTIN C, et al. Estimating net carbon emissions and agricultural response to potential carbon offset policies [J]. Agronomy Journal, 2011, 103(103)：1132.

[8] 曹珂，屈小娥. 中国区域碳排放绩效评估及减碳潜力研究[J]. 中国人口·资源与环境，2014，24(8)：24－32.

[9] GREENING L A. Effects of human behavior on aggregate carbon intensity of personal transportation: Comparison of 10 OECD countries for the period 1970—1993 [J]. Energy Economics, 2004, 26(1)：1－30.

[10] SUN J W. The decrease of CO_2 emission intensity is decarbonization at national and global levels [J]. Energy Policy, 2005, 33(8)：975－978.

[11] 吴贤荣，张俊飚，朱烨，等. 中国省域低碳农业绩效评估及边际减排成本分析[J]. 中国人口·资源与环境，

2014,24(10):57-63.
[12] 高鸣,宋洪远. 中国农业碳排放绩效的空间收敛与分异——基于 Malmquist-luenberger 指数与空间计量的实证分析[J]. 经济地理,2015,35(4):142-148,185.
[13] 刘应元,冯中朝,李鹏,等. 中国生态农业绩效评价与区域差异[J]. 经济地理,2014,34(3):24-29.
[14] 田伟,杨璐嘉,姜静. 低碳视角下中国农业环境效率的测算与分析——基于非期望产出的 SBM 模型[J]. 中国农村观察,2014(5):59-71.
[15] 田云,张俊飚. 中国低碳农业发展的动态演进及收敛性研究[J]. 干旱区资源与环境,2017(3):1-7.
[16] OECD. Multifunctionality: Towards an analytical framework [M]. Paris: OECD Publications, 2001.
[17] BAUMGÄRTNER S. Heinrich von stackelberd on joint production [J]. The European Journal of the History of Economic Thought, 2001, 8(4):509-525.
[18] 方精云,郭兆迪,朴世龙,等. 1981—2000 年中国陆地植被碳汇的估算[J]. 中国科学:地球科学,2007,37(6):804-812.
[19] 陈儒,邓悦,姜志德,等. 中国退耕还林还草地区复耕可能性及其影响因素的比较分析[J]. 资源科学,2016,38(11):2013-2023.

Evaluation on the Low Carbon Agricultural Development Performance and Policy in China

CHEN Ru, JIANG Zhi-de

(*School of Economics and Management*, *Northwest Agriculture and Forestry University*, *Yangling* 712100, *China*)

Abstract: Based on the theoretical and conceptual framework of joint production, took agricultural carbon emission as an undesirable output, brought carbon sink as desirable output into carbon performance accounting system, combined with the panel data of 42 low carbon pilot areas in China during years 2007-2015, the paper analyzed the spatial and temporal trends of China's low carbon agricultural development with the method of carbon accounting model, SE-SBM model and ML efficiency index, and then evaluated the effect of low carbon agricultural policy implementation in different areas. The results showed that: low carbon agriculture is a joint production process with four types of outputs; the purpose is to decouple the relationship between agricultural products and carbon products. Agricultural production has maintained a good net carbon sink effect in the low carbon pilot areas, but failed to realize the effective development of low carbon agriculture. Redundancy of agricultural input was the main constraint. Low carbon agricultural production efficiency tended to rise with fluctuation in most pilot areas, and realized performance improvement of low carbon agricultural development. Agricultural technological progress was the main driving force. Generally, construction of low carbon pilot provinces and cities promoted the development of low carbon agriculture to a certain extent, but not obviously. The main constraint was the reduction of agricultural technical efficiency.

Key Words: low carbon agricultural; net carbon sink; development performance; production efficiency; technical efficiency